

А. А. Панова, В. И. Токманцев

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

96alena1995@mail.ru

ВЛИЯНИЕ «ЭФФЕКТА ЗАТЕНЕНИЯ» НА МАКРОПАРАМЕТРЫ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ГАЗА

В работе моделируется установившееся азимутальное движение разреженного газа в кольцевом зазоре между двумя коаксиальными бесконечными цилиндрами, один из которых неподвижен, а другой быстро вращается. Исследовано влияние разрывности функции распределения на поле температуры в пространстве между цилиндрами.

Ключевые слова: вращающийся газ; эффект затенения; функция распределения; метод дискретных скоростей.

A. A. Panova, V. I. Tokmantsev

Ural Federal University, Ekaterinburg

THE EFFECT OF THE "SHADING EFFECT" ON THE MACRO PARAMETERS OF THE ROTATING GAS

The steady-state azimuthal motion of the rarefied gas in an annular gap between two coaxial infinite cylinders is modeling. One of cylinders is motionless, and the other one rotates rapidly. The influence of the discontinuity of the distribution function on the temperature field in the space between the cylinders is investigated.

Keywords: rotating gas; shading effect; distribution function; discrete velocity method.

Хорошо известно, что в плотной среде неравновесная функция распределения непрерывна как по модулю, так и по направлениям скоростей частиц. Это позволяет применять аналитические методы решения кинетических уравнений, в том числе, разложение по

подходящей системе базисных функций [1, 2]. Напротив, характерной особенностью разреженных систем является разрывность функции распределения, которая связана с приходом в точку наблюдения частиц, несущих нелокальную информацию о достаточно удаленных областях течения. В таких условиях более эффективны численные методы решения кинетических уравнений [3, 4]. Частным случаем проявления разрывности функции распределения является «эффект затенения» в системах с усложненной геометрией, когда функция распределения в точке наблюдения формируется частицами, приходящими с разных поверхностей. В некоторых технических системах (например, в вакуумных насосах [5]) «эффект затенения» играет главную роль.

В настоящей работе с помощью численного метода дискретных скоростей [4] моделируется установившееся азимутальное движение разреженного газа в кольцевом зазоре между двумя коаксиальными бесконечными цилиндрами, один из которых (внешний) неподвижен, а другой (внутренний) быстро вращается. Температуры цилиндров одинаковы. Граничные функции распределения для частиц, непосредственно вылетающих с поверхности цилиндров, различны и несут информацию о скорости соответствующей поверхности. При удалении от границ эта информация либо теряется вследствие большого количества межчастичных столкновений, либо сохраняется на некотором расстоянии, которое зависит от параметра разреженности газа δ . В последнем случае в каждую точку наблюдения приходят частицы с двумя разными распределениями по скоростям, и, таким образом, возникает «затенение» внутренним цилиндром потока частиц с поверхности внешнего цилиндра.

Исследовано влияние разрывности функции распределения на поле температуры в пространстве между цилиндрами. Показано, что в сильно разреженном газе ($0 < \delta < 5$) кинетический «эффект затенения» приводит к некоторому изменению температуры по сравнению с более плотным газом ($\delta > 5$).

Рассмотренный вариант метода численного решения квазилинейного кинетического уравнения Больцмана позволяет получать детальную информацию о процессах переноса нейтронов в ядерном реакторе, в частности, вблизи стержней регулирования. Также полученные результаты могут быть использованы в атомной отрасли при разработке новых, более совершенных газовых центрифуг для разделения изотопов урана.

Список использованных источников

1. Либов Р. Введение в теорию кинетических уравнений. М. : Мир, 1974. 372 с.
2. Марчук Г. И., Лебедев В. И. Численные методы в теории переноса нейтронов. М. : Атомиздат, 1981. 456 с.
3. Bird G. A. Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows. Oxford University Press, 1994. 479 p.
4. Aristov V. V. Direct methods for solving the Boltzmann equation and study of nonequilibrium flows. Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2001. 302 p.
5. Sharipov F., Fahrenbach P., Zipp A. Numerical modeling of Holweck pump // J. Vac. Sci. Technol. Sep/Oct 2005. A 23(5). P. 1331–1339.